

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADEMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



## INFORME FINAL DE PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES

---

Mapa Hidrogeológico de la cuenca Coata (Región Puno) en base a la actualización Cartográfica, Geológica, Litológica y estructuración de la columna estratigráfica.

---

EJECUTOR : PAREDES ESCALANTE, Davis Charles

ASESOR : Ing. PUERTA TUESTA, Ronald Hugo

LUGAR DE EJECUCIÓN : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET

DURACIÓN : Siete (07) de Febrero al Siete (07) de Mayo

**Tingo María - Perú**

**2014**

## INDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>II. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>III. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
3.1. Objetivo General .....	8
3.2. Objetivos específicos.....	8
<b>IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
4.1. Marco teórico conceptual .....	9
4.1.1. Cuenca hidrográfica .....	9
4.1.2. Características biofísicas de la cuenca hidrográfica .....	12
4.1.3. Importancia de las cuencas hidrográficas.....	15
4.1.4. Interrelaciones presentes en una cuenca hidrográfica .....	16
4.2. Los sistemas de información geográfica y su importancia en las cuencas hidrográficas.....	19
4.3. Parámetros de forma .....	21
4.3.1. Red Hídrica .....	21
4.3.2. Densidad de drenaje .....	21
4.3.3. Factor de forma (F) .....	22
4.3.4. Coeficiente de compacidad (Kc) .....	23
4.4. Geología.....	24
4.4.1. Estratigrafía.....	24
4.5. Litología .....	27
4.6. Hidrogeología .....	29
4.6.1. Tipos de acuíferos .....	30
4.6.2. Unidades Hidrogeológicas de acuerdo al tipo de roca .....	31
4.7. Generación de mapas geológicos.....	33
4.8. Generación de mapas litológicos .....	33
4.9. Generación de mapas hidrogeológicos .....	35

<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
5.1. Lugar de ejecución.....	37
5.2. Área de estudio .....	37
5.3. Cuenca hidrográfica Coata .....	37
5.4. Materiales y equipos .....	39
5.5. Metodología .....	39
5.5.1. Generación de la red hidrográfica .....	40
5.5.2. Estructura de la columna crono-estratigráfica .....	41
5.5.3. Generación de mapas temáticos .....	42
<b>VI. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
6.1. De la Actualización de la base cartográfica .....	44
6.2. de la columna estratigráfica .....	46
<b>VII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>61</b>
7.1. De la Actualización de la base cartográfica.....	61
7.2. De la columna crono-estratigráfica.....	62
7.3. De los mapas .....	63
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>X. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>66</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>68</b>
<b>XII. PLANOS .....</b>	<b>70</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

La generación de estudios Hidrogeológicos se enmarca dentro de la Ley N° 26821: “Ley orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales” ya que estos estudios apoyan a la Zonificación Ecológica y Económica del país como al ordenamiento territorial, a fin de evitar conflictos por la superposición de títulos y usos inapropiados y demás fines, Artículo 11; así como promover y facilitar, el uso y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, la gestión responsable de los recursos naturales no renovables, la diversidad biológica, la ocupación ordenada del territorio en concordancia con sus características, potencialidades y limitaciones. Dichos estudios nacen de la necesidad de conocer el comportamiento del medio físico hacia diferentes alteraciones producidas por el hombre y viceversa dentro de su territorio como inundaciones, sequías y movimientos en masa; dentro del cual se toma a la información geológica ambiental como base de estos estudios.

La hidrogeología nos explica las interacciones del hombre con su medio geológico, como medio físico se restringe a rocas, minerales, sedimentos, suelo y agua; así como las formas de su superficie y sus procesos que la forman. De acuerdo a la interacción del hombre y el medio se puede generar dos tipos de

información una donde el hombre afecta al ambiente como el impacto generado por los usos de los recursos geológicos (aguas subterráneas, minerales y energía), y otro donde el ambiente puede afectar al hombre como son los peligros geológicos (peligros volcánicos, sísmicos, remociones en masa, inundaciones, entre otros) del cual el producto generado va a servir como apoyo hacia la planificación territorial.

Una de las ramas fundamentales en la cual la hidrogeología se establece es la geoquímica debido que trata del comportamiento de la composición y dinámica de los elementos químicos que abundan en la tierra sean inorgánicos, orgánicos naturales y artificiales, así como su transformación en ambientes naturales como consecuencia de la influencia antropogénica. Dándole importancia a esta rama que nos va a ayudar realizar diferentes estudios físico-geoquímicos e hidrogeológicos que luego serán analizados para ser caracterizados e interpretados.

Uno de las formas en como poder mitigar los problemas ambientales generados por el hombre es el uso de sistemas de información geográfica como herramienta para generar información hidrogeológica y de esta manera nos permita el aprovechamiento sostenible de los recursos.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo se enmarcó en realizar una línea base hidrogeológica a fin de apoyar al diagnóstico y mitigación de los problemas de contaminación, minimizando la posible degradación ambiental o maximizando la posibilidad del adecuado uso del ambiente natural o modificado. Además, estudiar los riesgos que pueden ocasionar los fenómenos naturales sobre la población y los recursos naturales, como también los fenómenos ocasionados por el hombre hacia él mismo.

El principal objetivo es realizar un mapa hidrogeológico de la cuenca Coata que permita brindar información de presencia, disponibilidad y calidad del agua subterránea para administrar y prevenir el manejo de los peligros naturales que puedan afectar a la sociedad, (poblaciones, asentamientos humanos) actividades económicas (industria), obras civiles (infraestructura, construcciones), así como mantener una explotación racional y limpia de los recursos naturales.

La importancia de las aguas subterráneas es que son una fuente de agua que no han sido aprovechadas hasta hace pocos años y que recién le están

prestando atención ya que un mal manejo de estas aguas o zonas donde se encuentran estas fuentes podría perjudicar no solo a estas sino al ecosistema que lo rodea. Estos estudios deben de estar integrados en todo diagnóstico o línea base de todo proyecto o actividad debido a que nos da una perspectiva completa de los impactos que se podrían generar al alterar una determinada área.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Elaborar el mapa Hidrogeológico de la cuenca Coata, basados en la actualización de datos cartográficos, geológicos, litológicos y estructuración de la columna estratigráfica.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Actualizar la base cartográfica de la cuenca Coata en la región puno a partir del uso de sistemas de información geográfica.
- Actualizar la red hídrica y los espejos de agua de la cuenca Coata.
- Estructurar la columna estratigráfica de la región Puno.
- Elaborar el mapa litológico, geológico e hidrogeológico de la cuenca hidrográfica Coata.



## **IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Marco teórico conceptual**

#### **4.1.1. Cuenca hidrográfica**

Según VILLON (2012), la cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, la cual es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por las precipitaciones, ya que cada área donde fluye una corriente de agua hasta el punto de salida de una cuenca se toma como un sistema único y por eso se debe de estudiar cada cuenca por separado ya que presentan distintas formas de escurrimiento y generación de red hídrica. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación aforo.

Como se puede observar en la figura 1 a la cuenca Coata que se toma como un sistema diferenciado de las cuencas adyacentes para su estudio particular, ya que tiene una topografía, escurrimiento, y red hídrica particular.



Figura 1. Cuenca hidrográfica Coata en la región Puno.

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña:

- Cuenca grande, es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande, cuando el área es mayor de 250 km<sup>2</sup>.
- Cuenca pequeña, es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las de cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varíe desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos, se considere 250 km<sup>2</sup>.

Estas diferencias en el comportamiento hidrológico hacen que los tratamientos en las cuencas pequeñas, con miras al manejo del agua, se fundamenten, esencialmente, en medidas que toman en cuenta la vegetación y la tierra. En cuencas grandes, el papel desempeñado por el tratamiento de la tierra y el manejo de la vegetación se ve disminuido por el almacenamiento en el valle, el cual requiere para su control de obras de ingeniería de mayor envergadura. Entre otros procesos que se diferencian las cuencas pequeñas y las cuencas grandes se muestra el cuadro 1 en el cual se muestran las características de cada cuenca según su tamaño (VILLON, 2002).

Cuadro 1. Características hidrológicas de las cuencas pequeñas y grandes.

Procesos	Cuenca pequeña	Cuenca grande
<b>Factor dominante en los caudales de crecida</b>	Escurrimiento superficial en las vertientes.	Escorrentía en el cauce.
<b>Sensibilidad</b>	a) A lluvias de alta intensidad y corta duración. b) Uso de la tierra (manejo de la tierra).	La sensibilidad a estos factores es suprimida por el efecto de almacenamiento en el valle.
<b>Efecto del escurrimiento</b>	El efecto del escurrimiento superficial en las vertientes predomina en los picos de crecida. De ahí la importancia del uso de la tierra y manejo de las vertientes en general.	El efecto del almacenamiento en el valle determina las características del pico de crecida.
<b>Crecidas e inundaciones</b>	Súbitas y violentas.	Lentas y de larga duración.
<b>Arrastre de material</b>	Arrastre de gran cantidad de sedimentos, con alto porcentaje de material de gran diámetro.	Arrastre moderado de material, de baja granulometría.
<b>Caudal de estiaje</b>	Reducido o nulo.	Regular, régimen hídrico permanente.
<b>Pendiente media</b>	Pronunciada.	Suave.
<b>Tamaño</b>	Menor de 250 Km <sup>2</sup> .	Mayor de 250 Km <sup>2</sup> .

Fuente: LONDOÑO A. (2001). CUENCAS HIDROGRAFICAS: BASES CONCEPTUALES-CARACTERIZACIÓN-PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN.

#### **4.1.2. Características biofísicas de la cuenca hidrográfica**

Según LONDOÑO A. (2001), explica que las variables de estudio del medio biofísico se pueden agrupar en cuatro grandes grupos: variables relacionadas con la tierra, variables relacionadas con la atmósfera, variables relacionadas con el agua y variables biológicas.

- Fisiografía

Características propias del relieve de la cuenca, que se puedan asociar con las características hidrológicas y de torrencialidad de la misma. En este sentido, es necesario realizar la sectorización hidrográfica de la cuenca; conocer la distribución altitudinal, la topografía, y la distribución de las pendientes superficiales. Estos parámetros deben de estar plasmados en mapas de sectorización hidrográfica.

- Geología, geomorfología y suelos

El conocimiento de la geología de la cuenca reviste gran importancia, como elemento que tiene profunda influencia en los resultados de las actividades humanas, especialmente en la construcción de obras de infraestructura, tales como: carreteras, puentes, represas, edificaciones, etc. Este conocimiento conlleva el estudio litológico de la cuenca, que comprende conocer la naturaleza, composición, textura y propiedades de las rocas. En la identificación y descripción de las diferentes unidades geológicas se debe hacer énfasis en los grados de estabilidad geológica de las mismas.

- Clima

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que se presentan típicamente en una región a lo largo de los años. El clima es un factor importante del ambiente global, que interviene en todos los procesos del mismo y, a la vez, es afectado por la variedad de interacciones entre los diversos componentes del ecosistema planetario.

Toda propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del clima de un lugar dado, para un período de tiempo determinado, es conocida con el nombre de “elemento climático”. Los principales elementos del clima son: la precipitación, la temperatura, la presión atmosférica, la humedad, la velocidad y dirección del viento, el brillo solar y la nubosidad.

- Hidrografía e hidrología

Respecto a la hidrografía, se debe resaltar la red hidrográfica y los patrones de drenaje, y ubicar en ella las obras de acueducto u otras relevantes. En el análisis del medio natural, el agua se debe considerar en un doble aspecto: de disponibilidad y calidad. El estudio de las fuentes de agua, de la cantidad y calidad, de sus formas superficiales, y de la localización de las fuentes de contaminación, debe ser considerado para conocer la capacidad potencial de este recurso, y para efectos negativos de determinadas actividades humanas, a corto o largo plazos, que limiten la disponibilidad futura de agua, con un cierto grado de regularidad y calidad.

La descripción de las características hidrológicas de una cuenca (cómo se distribuye el agua, tipos de fuentes, calidad y cantidad del agua, red de drenaje, etc.), proporciona la información necesaria para su clasificación, de acuerdo con criterios de disponibilidad de agua.

El conocimiento de agua disponible en cada punto del territorio de la cuenca tiene interés, no sólo en cuanto es un factor decisivo en la planificación de las actividades a desarrollar en cada sitio de la cuenca, sino, también, para la asignación de usos complementarios de esta. Por ejemplo, la existencia de masas de agua (lagos, lagunas, embalses) en un área, favorecerá su utilización para la recreación, la pesca, el riego, etc.

El análisis de los recursos hídricos, por su parte, aporta datos sobre la ocurrencia, distribución y disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, de donde se obtienen indicadores que facilitan la propuesta de acciones de regadío o control de inundaciones. Así mismo, se analiza la calidad del agua, los procesos de sedimentación y de degradación de cuencas, y las áreas de potencial hidro-energético.

- Flora y fauna

Al estudiar la vegetación es importante, además, tener en cuenta la fauna silvestre existente, pues, como ya se anotó, la vegetación constituye un indicador de las condiciones ambientales del territorio y, por ende, de la existencia o no de determinadas especies de fauna. El conocimiento adecuado de este recurso

permite establecer sitios de riqueza faunística, y realizar acciones de protección como reservas, santuarios y refugios.

- Uso potencial de los suelos

El uso potencial de los suelos es el mejor uso que se puede dar a los suelos para obtener una mayor producción, una mejor distribución de las actividades productivas, y unos patrones de uso acordes con el concepto de capacidad y uso sostenido, en función de las condiciones naturales, características sociales y económicas, valores culturales, niveles tecnológicos y tendencias del mercado (LONDOÑO A., 2001).

#### **4.1.3. Importancia de las cuencas hidrográficas**

Según FAO (1997), Las cuencas hidrográficas ofrecen numerosos servicios a la sociedad. El suministro mundial de agua dulce para usos domésticos, agrícola e industrial depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas. La agricultura y la seguridad alimentaria dependen en gran medida del agua superficial y los sedimentos, recogidos y transportados por las laderas de las cuencas.

Los bosques de las cuencas son fuente importante de madera y leña. Con frecuencia se asigna un valor recreativo simbólico al paisaje natural y cultural de las cuencas hidrográficas. Y por último, pero no de menor importancia, la vida y los medios de subsistencia de gran parte de la población rural dependen directamente de los recursos naturales de las cuencas.

#### **4.1.4. Interrelaciones presentes en una cuenca hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca es evidente en muchos casos.

Se sabe que a cada comunidad vegetal, bien definida, corresponde una comunidad animal; así, el conjunto de ambas constituye una comunidad biótica. Estas dos comunidades interactúan entre sí y con el medio circundante (componente abiótico), y establecen relaciones generadoras de ciclos de materia y de flujos de energía, en un área determinada, de tal manera, que conforman un ecosistema. Un ejemplo de cómo funciona un ecosistema se describe a continuación: la energía proveniente del sol, el aire, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire, el agua y los minerales del suelo, son utilizados selectivamente por las plantas (productores primarios), para producir el alimento y desarrollarse. Los animales herbívoros (consumidores primarios) se alimentan de plantas y sirven, a su vez, de alimento a otros animales carnívoros (consumidores secundarios). Al morir, las plantas y los animales se descomponen por acción de los microorganismos (bacterias y hongos), liberando, de esta forma, los nutrientes que son retenidos por el suelo, y sus complejos orgánico-minerales, e incorporados nuevamente por las plantas. En cada una de estas actividades que desempeñan los seres vivos, se libera energía en diferentes formas. Por lo tanto, una consideración ambiental en la planificación, es identificar las estructuras de niveles tróficos, y las cadenas



alimenticias y sus funciones en los ecosistemas de cuencas hidrográficas, de modo de poder predecir los resultados de la intervención del hombre, a través de los procesos de desarrollo, así como sugerir proyectos que puedan aprovechar estos procesos.

Las cuencas hidrográficas son, por su naturaleza misma, unidades físicas complejas. El hecho de que sustenten asentamientos humanos y de que se vean sometidas a los efectos de la actividad antropogénica, complica aún más la situación y aumenta la dificultad de reducir la degradación ambiental. La actividad humana irrestricta puede acrecentar la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica a los desastres naturales, al tiempo que reduce su capacidad de recuperación.

El grado de degradación dependerá del nivel social, de las actividades económicas y productivas prevalecientes, y de las condiciones ecológicas.

#### - Relación con la minería

La minería es otra actividad que afecta el ambiente natural de la cuenca. Las actividades mineras pueden ser: subterránea, a tajo abierto y extracción superficial, perforaciones para la extracción de petróleo y gas, canteras para la extracción de materiales de construcción, y dragado de cauces en busca de oro y otros materiales, como materiales de construcción.

Los impactos ambientales del sector minero abarcan un amplio espectro de elementos asociados a cada una de las etapas de los proyectos, y de los diferentes tipos o sistemas de minería. En general, estos impactos tienen efectos

sobre la fisiografía, el suelo, el agua, el aire, la biota y los ecosistemas, en los cuales se desarrollan las actividades de exploración, explotación y transporte; afectando, además, la salud de la población, no sólo residente en el área del aprovechamiento minero, sino también aguas abajo, como consecuencia de la contaminación del agua por sedimentos, sales y ácidos, y del aire, por partículas de polvo proveniente de canteras y minas a tajo abierto.

La minería, en general, ocasiona daños a los ecosistemas, y destrucción del hábitat natural, local y adyacente; elimina la vegetación exponiendo el suelo a los agentes erosivos, y como consecuencia se presentan efectos antiestéticos en el paisaje. Las canteras para la extracción de arena, roca y grava, destruyen la vegetación ribereña, alteran la naturaleza de los taludes, de las planicies de inundación y de las terrazas adyacentes. El dragado de los cauces rompe el equilibrio entre el ambiente físico del canal y la comunidad biológica, y puede incrementar la cantidad de bacterias aguas abajo, al ser liberadas de los sedimentos del lecho.

Los terrenos que han sido dedicados a la minería no son fáciles de recuperar, y requieren de una cuidadosa selección del tipo de material vegetal a plantar.

Las sustancias tóxicas (metales, ácidos y sólidos suspendidos), provenientes de las operaciones mineras, producen contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, destruyendo la vegetación ribereña, y exponiendo los taludes a la acción de los agentes erosivos; algunos productos químicos no

destruyen la vegetación, pero pueden ser asimilados por las plantas, por tanto, penetran en la cadena alimenticia, y afectan a otros seres del ciclo.

El aire se afecta, como consecuencia de la dispersión de partículas, gases y vapores. Las emisiones atmosféricas de los molinos de trituración de material pueden devastar la vegetación de las áreas adyacentes.

La minería produce cambios topográficos que alteran completamente el sistema de drenaje, especialmente de los cauces de orden inferior. El material de los frentes de minas y canteras, forma pendientes pronunciadas que favorecen los deslizamientos masivos y la caída de rocas. El dragado de los cauces y la excavación de los taludes alteran la geomorfología, generan un incremento en la turbidez del agua y una concentración de sedimentos. Las canteras que se ubican en las planicies de inundación dejan incisiones que luego se convierten en brazos de cauces, provocando un cambio total en la dirección del flujo, dando origen a serios problemas de erosión, y destruyendo las vías que bordean los cauces.

Las actividades mineras, en general, alteran la composición química ambiental, al exponer los materiales a la acción del intemperismo, y por la producción de desechos (FAO, 1997).

#### **4.2. Los sistemas de información geográfica y su importancia en las cuencas hidrográficas**

PANTOJA (2010), expone que el desarrollo económico de cualquier país constituye una necesidad primordial el aprovechamiento sostenible de los

recursos naturales, siendo éste uno de los retos más importantes la planificación del uso del agua por su distribución limitada sobre la superficie terrestre. Planificar el uso de los recursos, por tanto, se convierte en un objetivo imprescindible en la actualidad. La clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos consiste en poseer los conocimientos necesarios para tomar las decisiones apropiadas.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido, gracias al desarrollo de los medios informáticos, en una potente herramienta de apoyo a la gestión de recursos naturales, constituyéndose durante los últimos veinte años en una de las herramientas de trabajo más importantes para investigadores, analistas y planificadores.

En los últimos años los SIG han alcanzado gran aplicación en el campo de la gestión integrada de los recursos hídricos. Estos programas permiten mejorar la representación de la variabilidad en la componente espacial de sistemas naturales, a partir de la construcción de modelos espaciales. Es por ello que se han consolidado en los últimos años como las herramientas más adecuadas para afrontar de forma eficiente la modelación.

En lo que se refiere a la modelación de la componente espacial de estas herramientas, aceleran los procesos de desarrollo e implementación de modelos hidrológicos. Los SIG pueden actuar a modo de plataforma para la experimentación rápida de nuevas ideas y conceptos (elaboración de prototipos). Sin duda, la calidad de los resultados depende de la exactitud, precisión y resolución espacial de los datos de entrada. Sin embargo, la parte final del proyecto generalmente permite evaluar la calidad de la fuente de datos y los tratamientos

geomáticos preliminares necesarios para optimizar este tipo de modelaciones hidrológicas (PANTOJA, 2010).

#### **4.3. Parámetros de forma**

##### **4.3.1. Red Hídrica**

Según VILLÓN (2002), la red de drenaje de una cuenca, se refiere a la trayectoria que tienen entre sí a los cauces de las corrientes naturales y de acuerdo a la forma de este drenaje nos pueda dar a conocer algunos indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las características de un drenaje se describen en su orden, longitud, densidad de corriente y densidad de drenaje.

##### **4.3.2. Densidad de drenaje**

LINSLEY (1977), explica que generalmente una densidad de drenaje alta está asociado con materiales impermeable a nivel sub-superficial, vegetación dispersa y relieves montañosos, además de ello indica que la cuenca posee suficiente drenaje para cuando se presentan las tormentas. Una cuenca bien drenada generaría poca oportunidad de darle tiempo a la escorrentía superficial de infiltrarse y percollar a nivel subterráneo, de allí que los acuíferos de estas regiones son de bajos rendimientos o en su defecto el volumen de recarga es muy pobre.

Por el contrario una densidad de drenaje baja refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta igualmente sugiere materiales duros y resistentes desde el punto de vista litológico.

Este parámetro nos ayuda a determinar si la cuenca presenta alto grado de percolación con relación al estudio de la hidrogeología ya que una parte de esta rama se encarga determinar las fuentes de aguas subterráneas y los procesos de formación de estas aguas (LINSLEY, 1977).

Cuadro 2. Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Densidad de Drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	Categoría
menor a 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
mayores a 3	Muy alta

FUENTE: Linsley (1997)

#### 4.3.3. Factor de forma (F)

Según VILLON (2002), expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (w) y la longitud (L).

Cuadro 3. Valores que interpretan el factor de forma.

Factor de forma	Forma de la cuenca
$F > 1$	Redondeada
$F < 1$	Alargada

Fuente: Villon (2002).

#### 4.3.4. Coeficiente de compacidad (Kc)

Expone que el índice de compacidad de una cuenca, definida por Gravelious, expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca, es decir:

$$K_c = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

El índice de compacidad, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua. Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro (VILLON, 2002).

Cuadro 4. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma.

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1	Forma redonda
Kc2	mayor a 1	Forma alargada

Fuente: VILLON (2002).

#### 4.4. Geología

ROJAS C. (2008), La Geología es la Ciencia de la Tierra que estudia el origen, composición, estructura y los fenómenos que se han producido en ella desde su génesis hasta la actualidad. Una definición científica diría que es la combinación matemática, física, química y biológica del estudio de la Tierra tal como hoy existe, y los procesos y estados a través de los cuales ha evolucionado.

Una de las herramientas principales en geología es el mapa geológico. Un mapa geológico es la representación en dos dimensiones y a escala de las características geológicas de una región. En él se representan las rocas que se encuentran en esa zona y que afloran en la superficie, junto con las estructuras geológicas que aparecen, como fallas, pliegues y discordancias. La base de los mapas geológicos son los mapas topográficos (ROJAS C., 2008).

##### 4.4.1. Estratigrafía

Según ALONSO (2001), la estratigrafía es una rama de la geología que trata del estudio e interpretación de la composición, naturaleza, génesis y distribución temporal y espacial de los depósitos sedimentarios y demás rocas asociadas, así como de sucesos y fenómenos relacionados con ellas.



Se encarga de la distribución temporal y espacial de los depósitos sedimentarios, demás rocas asociadas, y sucesos y fenómenos ligados a todos ellos. Para ello, se analiza los tipos de rocas de cada intervalo geológico, los procesos y condiciones de formación que se deducen a partir de ellas y procede a su ordenamiento en el marco de una sucesión espacio-temporal de mayor o menor resolución. Herramientas fundamentales en este proceso son el establecimiento de series estratigráficas (sucesiones de rocas) locales o regionales, la integración de los datos de edad derivados de diferentes métodos (radiométricos, paleontológicos, ciclo-estratigráficos) y la elaboración de diagramas de tiempo (diagramas o esquemas crono-estratigráficos como se muestran en la Figura 2).

La estratigrafía se nutre e interactúa con todas las disciplinas geológicas, pero principalmente con la paleontología, Tectónica, Petrología, Geodinámica externa, Geofísica y Geoquímica.

La Estratigrafía tiene infinidad de aplicaciones prácticas. Entre ellas, cabe destacar la búsqueda y explotación de recursos naturales (sobre todo de hidrocarburos, carbón y menas minerales) y el análisis de procesos y productos

sedimentarios en contextos antiguos y actuales (playas, ríos, cuencas, etc.; ALONSO, 2001).

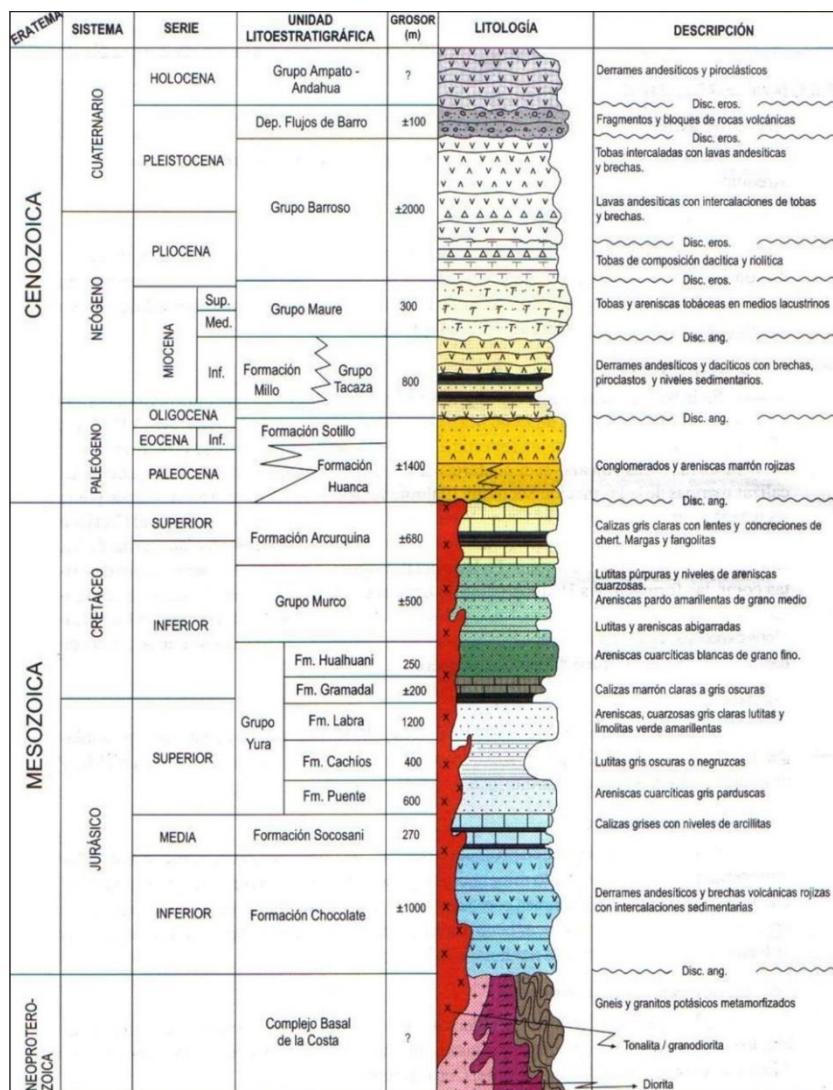


Figura 2. Columna estratigráfica de la localidad de Yura en Arequipa.

#### 4.5. Litología

Según GRAVUSOB B. (2002), explica que litología se refiere a las rocas y depósitos de varias etapas de la litogénesis Continental duros y sueltos, que forman la capa de superficie implicado en ciclos termo-hidrológico diarias y anuales activos. Estas rocas y depósitos contribuyen asunto a la facturación de los procesos biogeoquímicos y la formación del suelo, y entregar sustancias transportadas por la escorrentía.

La base litogenética constituido por rocas madre de los que surgen los suelos. Estas rocas forman una capa de rocas duras o sueltas geológicas, la cual constituye el perfil del suelo subyacente y no se ve afectada por los procesos de formación del suelo. Muchos estudios se han llevado a cabo para distinguir las características de rocas madre de las de los suelos. Por lo tanto la composición química y mineralógica de la roca madre desempeña un papel importante en los ecosistemas de funcionamiento.

La base litogenética es un componente de los ecosistemas que se tarda mucho tiempo en desarrollarse y evolucionar. Los cambios en los minerales de óxido de silicato son irreversibles, y así orientar la evolución del ecosistema de una manera determinada. Los impactos inducidos por humanos tienden a aumentar el papel de la base litogenética para la estructura, el funcionamiento y la evolución de los ecosistemas (GRAVUSOB B., 2002).

Cuadro 5. Tipos genéticos y las especies litológicas de los padres y las rocas subyacentes

(GRAVUSOB B., 2002).

<b>Tipos genéticos</b>	<b>Especies litológicas</b>
<b>Rocas duras y eluvium</b>	Los afloramientos rocosos de edad pre-cuaternario
	Eluvium de rocas masivas y cristalinas, areniscas y areniscas-lutitas
	Eluvium de arcilla y argilita y lutitas
<b>Rocas</b>	Eluvium de piedra caliza y demás piedras calizas
	Eluvium y deluvium de rocas masivas (sin subdivisión)
<b>Deluvial - coluvial y fluencia</b>	Depósitos coluviales y Deluvial-fluencia (sin subdivisión)
	Coluvial y deluvial-coluvial
	Soliflucción y diluvium-fluencia
<b>Glacial</b>	Ácido básico Moraine (grueso, escombros)
	Moraine alcalina básica (grueso, escombros)
	Schungite Moraine (grueso, escombros)
	Calcáreo Moraine (rikch)
	Moraine mezcla de magma y sedimentos rocas
	Superficie calcárea Moraine y la efervescencia del subsuelo
	Moraine Newland, extremo escandinavo básica y Ural
	Moraine (sin subdivisión)
<b>Fluvio-glacial</b>	Fluvio-glacial con profunda ocurrencia de rocas subyacentes
	Fluvio-glacial con ocurrencia poco profunda
	rocas subyacentes de Fluvio-glacial (sin subdivisión)
<b>Aluvial-limnética</b>	Aluvial
	Depósitos limnéticos
<b>Marina</b>	Marino no salino
	Salina marina
	Marina y glacial-marine (sin subdivisión)
	Sedimentos Proluvial y aluviales proluvial (sin subdivisión)
<b>Cubierta, loess como depósitos, loess y arcillas</b>	No calcáreos sedimentos limo grueso (margas cubierta)
	Depósitos y loess-loess como calcáreos
	Syrts arcillas
<b>Depósitos volcánicos</b>	Cenizas volcánicas y sedimentos mixtos
<b>Depósitos eólicos (arenas)</b>	Arenas no fijos y fijos (sin subdivisión)
<b>Los depósitos orgánicos</b>	Los depósitos orgánicos
<b>Depósitos problemáticos</b>	Depósitos problemáticos

Fuente: GRAVUSOB B., 2002. Lithology.

#### 4.6. Hidrogeología

Según NAVARRO A. (2002), la hidrogeología es el estudio de las rocas como depósitos permeables por porosidad fracturación, y las leyes por las que en ellas se mueven los fluidos, motivado todo ello por los petroleros. La hidrología general, al estudiar las relaciones entre las aguas de las lluvias, evaporación y escurrimiento superficial directo (NAVARRO A., 2002).

Para GIL MONTES (2005), la Hidrología es la ciencia que trata de las aguas terrestres y se ocupa del estudio del ciclo completo del agua, desde el momento en que ésta cae desde la atmósfera a la tierra hasta que desemboca en el mar o vuelve a la atmósfera. El ciclo del agua se desarrolla en tres medios distintos: La atmósfera, la superficie del suelo y el subsuelo.

Por tanto, la Hidrología comprende dos ramas:

- Hidrología de superficie
- Hidrología subterránea.

La Hidrología subterránea o Hidrogeología puede definirse como “el estudio geológico de las aguas subterráneas”, o bien, “aquella parte de la Hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en el interior de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones, sus reacciones a la acción antrópica, etc”.

La Hidrogeología moderna se ocupa, entre otras, de las siguientes cuestiones:

- 1) Investigación de las relaciones existentes entre las formaciones geológicas y las aguas subterráneas.

- 2) Desarrollo de las ecuaciones matemáticas que rigen el movimiento del agua en el interior de las rocas y en las captaciones (Hidráulica subterránea).
- 3) Estudio de la composición química del agua subterránea (Hidrogeoquímica)
- 4) Prospección de las aguas subterráneas: Técnicas de localización y reconocimiento.
- 5) Explotación y gestión de las aguas subterráneas dentro del conjunto de los recursos hidrológicos disponibles. Comprende las secciones de:
  - a) Proyecto y construcción de captaciones de aguas subterráneas
  - b) Recarga artificial de acuíferos subterráneos
  - c) Planificación hidráulica
  - d) Legislación de aguas
  - e) Evaluación global de las aguas subterráneas.

#### **4.6.1. Tipos de acuíferos**

Según GIL MONTES (2005) clasifica a los acuíferos así:

- Acuíferos: son formaciones geológicas que almacenan el agua y que a su vez permiten el movimiento de la misma, bajo la acción de las fuerzas de la gravedad, de tal forma que puede ser explotada en cantidades relativamente apreciables.
- Acuicludos: son formaciones que almacenan el agua, a veces en proporciones altas, pero que no la transmiten en cantidades apreciables.
- Acuitardos: son formaciones que almacenan el agua pero que sólo permiten el flujo de la misma en forma muy lenta, en comparación con los acuíferos.

Estas formaciones pueden tener una gran importancia cuando se estudia el movimiento del agua a nivel regional, ya que sobre áreas relativamente grandes pueden transmitir grandes cantidades de agua a pesar de la baja velocidad de flujo. Así, pueden permitir el paso de agua de un acuífero a otro cuando éstos se encuentran separados por un acuitardo. Este fenómeno reviste particular importancia cuando se estudian casos de contaminación de las aguas subterráneas.

- Acuífugos: son formaciones impermeables que no almacenan ni transmiten el agua (GIL MONTES, 2005).

#### **4.6.2. Unidades Hidrogeológicas de acuerdo al tipo de roca**

Según la descripción del INGEMMET (2014), las unidades hidrogeológicas se clasifican de acuerdo a su litología, capacidad de almacenamiento y transmisibilidad de agua subterránea se diferencian cinco tipos principales de unidades hidrogeológicas:

- Acuífero Poroso No Consolidado.- unidad de gran importancia conformada por materiales recientes no litificados productos de la erosión, transporte y deposición de sedimentos, actividad volcánica y humana, con alta capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea principalmente por sus poros. Generalmente en este tipo de acuífero se registra la mayor cantidad de pozos y sondeos verticales, donde se extraen agua subterránea, para ser utilizada en labores agrícolas, consumo humano e industrial.

- **Acuífero Fisurado.**- Material consolidado, que puede ser de origen sedimentario y/o volcánico, que ha adquirido porosidad secundaria a través de fracturas, fisuras, fallas, etc. Este tipo de acuífero posee alta capacidad para almacenar y transmitir agua subterránea y representa importantes reservas de agua subterránea por lo que amerita estudios más detallados.
- **Acuífero Volcánico.**- Material de origen volcánico que ha tenido variadas formas de sedimentación y depositación, como los piroclastos y flujos de lava en bloques con características variables. Los piroclastos son impermeables pero también alcanzan porosidad de hasta 50 % y los flujos de lava en bloques son materiales de grandes dimensiones acumulados con alta porosidad. Los estudios hidrogeológicos en rocas volcánicas son muy complejos y en el Perú tienen gran extensión, por lo cual implican estudios más detallados y multidisciplinarios.
- **Acuitardo.**- Formación geológica con capacidad para almacenar agua subterránea y transmitirla lentamente. Su importancia radica en que estas unidades corresponden a estratos condicionantes para el almacenamiento de aguas subterráneas (base o techo de acuíferos) y determinan zonas de baja producción de aguas subterráneas.
- **Acuicludo.**- Formación geológica con capacidad de almacenamiento de agua subterránea pero nula transmisibilidad. Este tipo de unidad hidrogeológica, al igual que el acuitardo, condiciona las surgencias de aguas subterráneas y confina algunos acuíferos.



- Acuífugo.- Formación geológica con nula capacidad de almacenamiento y transmisibilidad de aguas subterráneas. Corresponde a estratos prácticamente secos.

#### **4.7. Generación de mapas geológicos**

El INGEMMET (2014), expone que para aplicar esta metodología se trata de simbolizar las formaciones geológicas que se deben incluir en diversos aspectos. Para determinar el tipo de formación se corroborara con la estratigrafía de la zona, los distintos resultados de estudios realizados en el área de estudio y la carta geológica nacional.

El mapa geológico se realiza utilizando como base el mapa topográfico y teniendo en cuenta las características de cada tipo de suelo.

#### **4.8. Generación de mapas litológicos**

Para aplicar esta metodología general de simbolización de unidades litológicas se deberá incluir diversos aspectos como la familiarización con el tipo de litología a representar, la elección de los grupos o asociaciones litológicas y una evaluación final de los mapas resultantes para valorar en conjunto la simbología y leyenda de acuerdo a la escala de representación. Para ello se deberá tener en cuenta los siguientes criterios:

En el mapa litológico se representarán dos tipos de elementos:

- Depósitos superficiales, materiales recientes no litificados (no consolidados).  
Estos materiales incluyen los materiales residuales de la roca erosionada in situ, los materiales transportados compuestos de minerales, rocas y

fragmentos orgánicos depositados por el agua, viento, hielo, gravedad, o cualquier combinación de estos agentes, los materiales acumulados de origen biológico, material trasladado y depositado por la acción humana y sedimentos piroclásticos no consolidados. Los materiales superficiales se clasifican según su modo de formación. Los procesos específicos de erosión, el transporte, la deposición, desgaste de masa e intemperismo producen materiales que tienen un conjunto específico de características físicas.

- Litología del substrato. En las áreas no cubiertas por depósitos superficiales se incorporará una información geológica simplificada que hará referencia a la unidad litológica de esa área. La definición de unidades litológicas tiene como base fundamental la agrupación de formaciones geológicas (unidades lito-estratigráficas) en base a su litología dominante - la cual se encuentra diferenciada en los mapas geológicos de la carta geológica nacional (1: 100 000 y 1:50 000) - y a las características ingeniero-geológicas asociadas a estos tipos de rocas.

Para la elaboración de mapas litológicos se deben seguir los siguientes pasos:

- Obtener mapas geológicos de la zona de estudio.
- A partir de los datos del mapa geológico y tomando en cuenta los criterios generales antes expuestos se establece la agrupación (o subdivisión) de unidades litológicas.
- Se procede a asignar los atributos requeridos a la versión digital del mapa litológico.
- Se revisa el mapa y la base de datos creada.

#### **4.9. Generación de mapas hidrogeológicos**

Para la generación de los mapas hidrogeológicos son una representación de la relación que existe entre el material geológico y el agua subterránea. Para su elaboración se desarrolla una caracterización hidrogeológica de cada roca o grupo de rocas, en función de su capacidad de almacenamiento y transmisibilidad del agua subterránea (acuífero, acuitardo, acuicludo y Acuífugo).

El análisis estructural (pliegues, fallas, fisuras, diaclasas, etc.) y litológico (tipo de roca) es importante para la ubicación de reservorios subterráneos. Las principales surgencias en forma de manantiales, fuentes termales, bofedales y otros, están condicionados por fallas, fracturas, cambios de litología, etc.

La elaboración del mapa hidrogeológico se realizará de manera sistemática y conjunta.

- Se toma como zona de estudio y unidad de análisis la cuenca hidrográfica.
- Se recopila información base de mapas: topográfico, geológico y estructural, en base a los cuales se interpreta y clasifican unidades hidrogeológicas preliminares.
- A partir de los datos del mapa geológico - estructural se establece la agrupación (o subdivisión) de unidades geológicas.
- Se realiza el mapa inventario de las fuentes de aguas subterráneas, como principal manifestación de los acuíferos, cuyas surgencias del interior de la tierra a superficie nos manifiestan la presencia de reservorios.

- Se determina la permeabilidad de acuerdo al tipo de formación geológica de acuerdo a los materiales que lo conforman e interpretar la velocidad de infiltración del agua en las rocas.
- Se superponen mapas geológicos, inventarios de fuentes y meteorológicos para la caracterización hidrogeológica de cada formación geológica y se designan las unidades hidrogeológicas correspondientes en un nuevo mapa.
- Se procede a asignar los atributos requeridos de nombre de cada unidad definida en la versión digital del mapa.
- Se confecciona la leyenda (INGEMMET, 2014).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Lugar de ejecución**

El estudio se realizó en la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), que se ubica en la Av. Canadá 1470, San Borja – Lima.

### **5.2. Área de estudio**

El estudio, realizado en Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), estuvo orientado a describir hidrogeológicamente la cuenca hidrográfica Coata el cual presenta un área total de 493271 Km<sup>2</sup>. Ubicado al sur de Perú, Departamento de Puno. Políticamente pertenece al distrito de Desaguadero, ocupa las superficies de las provincias de San Román y Lampa.

### **5.3. Cuenca hidrográfica Coata**

La cuenca hidrográfica Coata está en un rango altitudinal desde los 3850 msnm hasta los 5250 msnm, está comprendida por nueve (09) centros urbanos dentro de su superficie, el río Coata con su población y sus vías de acceso.

## - Clima

El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante desde el punto de vista climatológico, la región tiene una estación húmeda (Noviembre a Marzo), otra seca (Junio a Agosto) y dos periodos de transición (Septiembre – Octubre y Abril – Mayo). (Fuente: “INRENA: Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa”, 2007).

## - Zonas de vida

En la cuenca hidrográfica Coata se reconocen cinco zonas de vida, en la cual las zonas de vida de mayor predominio son las de Páramo Muy Húmedo Subalpino Subtropical (*pmh-SaS*), Tundra pluvial Subtropical (*tp-AS*) y Bosque Húmedo Montano Subtropical (*bh-MS*) como se muestra en la figura 3. (ONERN, 1965)

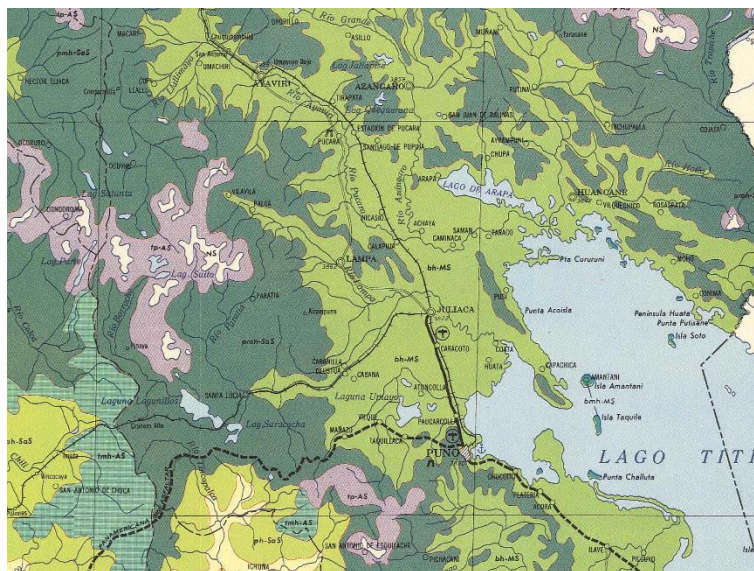


Figura 3. Zonas de vida de las que abarca la cuenca hidrográfica Coata. (ONERN, 1976)

## **- Geomorfología**

En particular, el altiplano es el resultado del relleno de una fosa tectónica que puede ser localizada incluso en el cretáceo, que ha recibido grandes cantidades de materiales clásticos, en gran parte continentales y Volcánico – sedimentarios, acumulados en espesores fuertes y poco cementados. (ONERN, 1965)

### **5.4. Materiales y equipos**

#### **a. Material Cartográfico**

- Cuadros de Empalme de la Carta Nacional elaborado por IGN 2008
- Mapa geológico elaborado por el INGEMET escala 1:100,000
- Imágenes satelitales del Servidor Google Earth.
- Imágenes satelitales del Servidor SAS.PLANET ver.140404

#### **b. Equipos**

- Ordenador
- impresora

#### **c. Software**

- ArcGis v. 10 extensión 3D Analyst.
- Microsoft Excel

### **5.5. Metodología**

Para actualizar y elaborar el mapa Hidrogeológico de la cuenca hidrográfica Coata reforzado con los análisis de muestras de la zona, se realizó en las siguientes fases:

### **5.5.1. Generación de la red hidrográfica**

#### **a) Análisis de Imágenes satelitales y Cartografía preliminar**

Esta etapa consistió en la delimitación de la cuenca hidrográfica Coata la cual fue extraída de un modelo digital de elevación (MDE) que fue generado de una Red irregular de triángulos (TIN), obtenido a partir de las curvas de nivel generadas por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), a escala 1/100 000. Para la determinación del drenaje se obtuvo información proporcionado por el IGN para una mayor precisión de los flujos reales que contiene la cuenca, el cual paso a ser perfeccionada mediante imágenes satelitales del servidor Google earth.

A su vez el INGEMMET proporciono una base de datos geomorfológico que sirvieron para la caracterización de la cuenca y mapa base para la elaboración de otros mapas.

#### **b) Elaboración de mapas preliminares de diseño**

##### **- Generación de mapas de diseño**

En una primera instancia se delimito la cuenca que contaba con un modelo de elevación (MDE) el cual fue generado por una Red de triángulos irregulares (TIN) y este fue generado por las curvas de nivel obtenidas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1 / 100 000; luego de generar la cuenca se procedió a perfeccionar la red de drenaje ya que el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) tiene en su base de datos una red de drenaje el cual se actualiza anualmente, para dicho estudio se debió actualizar la red de drenaje utilizando el programa Google Earth y el Sas.planet 140404.8023 en el cual uno



puede editar el cauce del flujo y dando a notar la red de drenaje actual que presenta dicha cuenca el cual es exportado para integrarlo a las capas de la cuenca para obtener una mejor delimitación y precisión de puntos de muestreo para las toma de muestras de aguas para el posterior análisis de ellas.

**- Identificación de fuentes aguas superficiales**

Con la base de datos de lagos que se tiene en formato *shapefile* y exportándolos al google earth se procedió a delimitar cada laguna de la cuenca Coata, este procedimiento nos sirvió para corroborar el estado actual de las fuentes lenticas de la cuenca, además se pudo comparar con las imágenes que nos proporciona el SAS.PLANET porque nos presentó imágenes sin nubosidad a comparación del google earth. Luego de este procedimiento, se exportó las fuentes de agua superficiales del google earth debidamente editadas, en formato *.kml* al Arc Map para visualizarlo y transformarlo en formato *shapefile*.

### **5.5.2. Estructura de la columna crono-estratigráfica**

#### **a) Colecta de Información**

En esta fase se procedió a realizar la recolección de muestras de agua y suelo que fueron llevadas al laboratorio del INGEMMET para obtener la caracterización del suelo. Esta labor ha sido ejecutada por otra dirección del INGEMMET.

#### **b) Actualización de información geológica**

En esta etapa se procedió a realizar los diferentes mapas de la región:

### - **Información Geológica**

se elaboró un shapefile de la información geológica con los datos obtenidos de puntos de muestreo de suelo y mapas geológicos existentes (actualizados desde el 2004 al 2011) ubicados en cada empalme de la carta nacional: 27v, 27x, 27y, 27z, 28u, 28v, 28x, 28y, 28z, 29u, 29v, 29x, 29y, 29z, 30t, 30u, 30v, 30x, 30y, 31t, 31u, 31v, 31x, 31y, 32t, 32u, 32v, 32x, 32y, 33u, 33v, 33x, 33y, 33z, 34v, 34x, 34y, 35v, 35x, 35y, 36x. Asimismo; se tuvo acceso a archivos shapefile de la geología regional de Puno pero desactualizados, para la realización de la actualización de la información geológica se realizó el cuadro crono estratigráfico de las formaciones geológicas que afloran en la región y sus respectivas eras geológicas que presentan, para luego proceder a procesarlo como tabla de archivo shapefile de la geología regional de Puno.

#### **5.5.3. Generación de mapas temáticos**

Los mapas fueron elaborados utilizando en el visualizador Arc Map del software Arc Gis v.10. Los mapas fueron proyectados en coordenadas UTM, en el datum WGS 1984 y ubicados en la zona 18.

### - **Mapa Geológico**

Este mapa se elaboró a partir de la información obtenida de la columna crono-estratigráfica.

#### **- Mapa Litológico**

Se elaboró con interpretación del mapa geológico de la región de Puno y con las especificaciones de agrupación de acuerdo a su composición litológica que presenta cada formación geológica.

#### **- Mapa Hidrogeológico**

Se elaboró teniendo en cuenta la descripción litológica y sus características intrínsecas de porosidad y permeabilidad. Del mismo modo la presencia de filtraciones en el terreno evidencia el comportamiento hidrogeológico.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. De la Actualización de la base cartográfica

La cuenca hidrográfica Coata cuenta con una totalidad aproxima de nueve (09) centros poblados más representativos, dentro de los cuales tres (03) considerados importantes por mayor población, los cuales son los poblados de Santa lucia, Juliaca y Lampa, como se puede observar en el cuadro 5 y verificar en el mapa 3 de la sección anexos.

Cuadro 5. Centros poblados de la cuenca hidrográfica Coata

<b>Distrito</b>	<b>Centro poblado</b>	<b>Provincia</b>	<b>Población</b>	<b>Categoría</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
Santa lucia	Santa lucia	Puno	5845	Ciudad	327858	8263739
Cabanillas	Deustua	Puno	2969	Pueblo	355237	8270123
Cabanillas	Cabanillas	Puno	1176	Pueblo	355383	8272676
Coata	Coata	Puno	830	Pueblo	398096	8278262
Juliaca	Juliaca	Puno	222073	Ciudad	378169	8286716
Paratia	Paratia	Puno	269	Pueblo	328006	8290853
Lampa	Lampa	Puno	6444	Ciudad	353444	8300965
Palca	Palca	Puno	1337	Pueblo	328248	8315050
Vilavila	Vilavila	Puno	645	Pueblo	321592	8320155

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca hidrográfica tiene un área total de 4882.42 Km<sup>2</sup> por lo que es considerada una cuenca grande por lo que tiene una alta capacidad de coleccionar agua, estos valores así como el ancho y el largo sirvieron para calcular algunos parámetros morfométricos el cual va a servir para conocer su geomorfología (cuadro 6).

Cuadro 6. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Coata

<b>Parámetros morfométricos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área	4882.42	Km <sup>2</sup>
Perímetro	465.85	Km
Longitud de la cuenca	91.45	Km
Ancho de la cuenca	116.35	Km
Cota mayor de la cuenca	5250	msnm
Cota menor de la cuenca	3850	msnm
Pendiente media de la cuenca	1.53	%
Longitud del cauce principal	188.22	Km
Cota mayor del cauce principal	5050	msnm
Cota menor del cauce principal	3850	msnm
Pendiente media del cauce principal	0.64	%
Factor de forma de la cuenca	0.58	Adimensional
Coeficiente de compacidad	1.87	Adimensional
Longitud total de las corrientes	3352.35	Km
Densidad de drenaje	0.69	Km/Km <sup>2</sup>

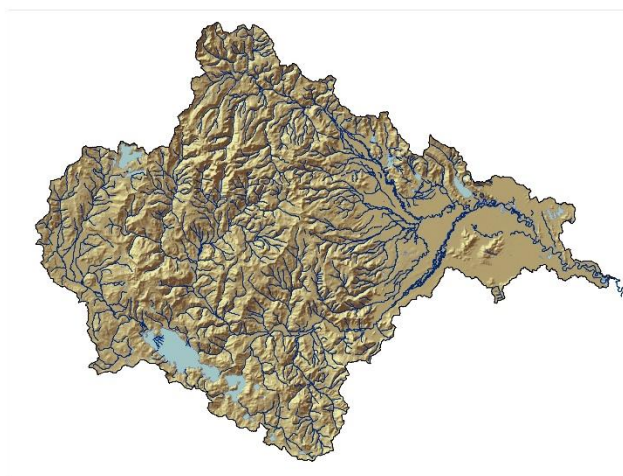
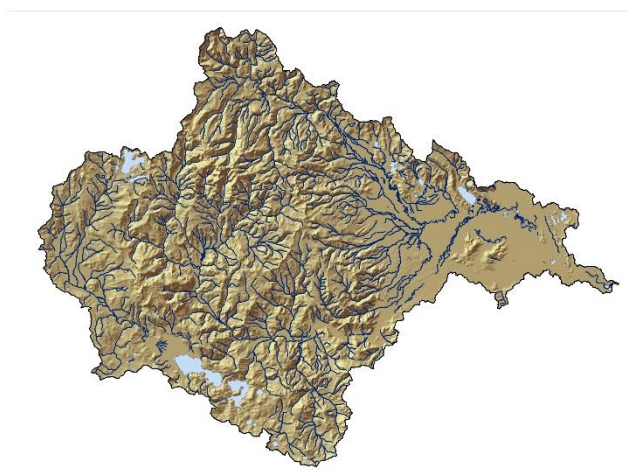
Fuente: Elaboración propia.

Para la actualización de la red hidrográfica y los espejos de agua de la cuenca Coata se muestra la comparación de drenaje y espejos de agua antiguo y nuevo en el cuadro 7 y las figuras 3 y 4.

Cuadro 7. Cuadro de distancias y área de la actualización de las fuentes de aguas loticas y lenticas.

Drenaje	Distancia (Km)
antiguo	3091.61
nuevo	3352.35

Espejos de agua	Área (Km2)
Antiguo	88.76
Nuevo	128.82



Figuras 3 y 4. Actualización de drenaje y espejos de agua de la cuenca Hidrográfica de Coata.

## 6.2. de la columna estratigráfica

De los datos obtenidos setenta y ocho (78) muestras nos indican que presentan un alto potencial de pH (superior al 7.5) el cual nos indica que son aguas con un alto contenido en sales proveniente de los relaves que se generan de las minas y se dispersan rápidamente a las aguas, debido a que estas minas se encuentran abandonadas o paralizadas ya que algunas se encuentran en procesos de formalización.

También hay dos muestras de aguas que presentan un alto nivel de acidez por su bajo pH (4.5 y 5.9) debido que a sus alrededores hubieron actividades mineras que ahora están abandonadas las que generaron residuos mineros que no fueron mitigados y estos contaminaron las aguas dejándolas acidas.

De estas muestras se tenía que actualizar la geología, ya que nos muestra una característica litológica actual de la cuenca, el cual nos va a servir para verificar con la carta geológica para observar si hay algún cambio en la geología o se mantiene igual con respecto a sus formaciones geológicas con la cual se realizara el mapa geológico y posteriormente el litológico e hidrogeológico.

El resultado de la actualización de datos es el cuadro cronoestratigráfico y el mapa geológico que se puede apreciar en el cuadro 8 y en los mapas 1 y 4 de la sección anexo que son la geología de toda la región puno y de la cuenca coata.

Cuadro 8. Resultados de muestreo de suelos y aguas superficiales

CODIGO	NORTE	ESTE	COTA	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	TDS (mg/L)	CAUDAL (L/seg)	OD (mg/L)	OD (%)	GEOLOGIA	OBSERVACIONES
0176-155-002	8306473	315614	4874	9.7	7.8	170.1	83.96	5	6.61	10.44	Qh-al. Depósitos aluviales.	En esta unidad minera paralizada y/o abandonada se presentan depósitos coluvio-diluviales en laderas por acción glaciár. También se observa depósitos glaciares (morrenas) que se encuentran rellenos en el valle glaciár.
0176-155-003	8312155	320468	4417	0	8.25	118.5	58.58	15	7.84	131.5	Qh-al. Depósitos aluviales. Tobas	Muestra duplicada en río Subatia.
0176-155-004	8310781	319867	4433	0	8.25	118.5	58.58	10	7.84	131.5	Qh-al. Depósitos aluviales. Tobas	
0176-155-005	8310722	318954	4514	6.8	8.63	166.4	82.09	10	7.32	102.9	Nm-pa/tbk.Tobas blanquecinas. Grupo palca.	Muestra tomada a 6 Km, aguas debajo de la Mina Quilca.
0176-155-006	8307114	322896	4244	10.6	8.9	710.7	348.8	15	7.68	113	Nm-pa/tbk.Tobas blanquecinas. Grupo palca.	A 2 Km de Mina Trapiche.
0176-155-007	8309038	313509	4828	10.1	6.19	1312000	645.8	10	6.17	98.5	Nm-si. Grupo sillapaca.Tobas.	La disposición de relave en la ladera ha generado aguas de color amarillento con fondo rojizo. En el área de influencia de los relaves, se presenta infiltraciones que forman bofedales de coloraciones rojizas-amarillentas.
0176-155-008	8302604	321477	4504	9.6	8.46	55.12	27.53	20	6.89	103.5	Nm-pa/tbk.Tobas blanquecinas. Grupo palca.	Aguas arriba también se presenta unidades mineras abandonadas.
0176-155-009	8311920	315920	4687	15.1	8.23	896	439.7	20	5.67	99.7	Qpl-mo. Depósitos morrenicos.	
0176-155-010	8305004	322734	4302	11.3	8.49	959.5	470.8	15	7.09	108.6	Qh-al. Depósitos aluviales. Toba gris-blanquecina	La quebrada Pumahuasi bisecta las montañas volcánicas formando un valle fluvio-glaciár relleno por conos de talud. A lo largo del valle se presentan bofedales y charcos.
0176-155-011	8302792	321431	4485	9.2	8.02	88.66	43.98	9	7.11	105.4	Qh-al. Depósitos aluviales. Tobas.	A 700 m antes de confluir con la quebrada Fundición. La quebrada Pumahuasi corta las rocas volcánicas formando valles encañonados de paredes agrestes.
0176-155-012	8302236	319896	4684	9.1	7.63	131.8	65.13	0	5.26	80.6	Nm-pat/btka. Formación Palca. Tobas blanquecinas fracturadas	Muestra tomada en la quebrada que bordea relaves de Mina Pomasi. Se presentan bofedales, charcos de color rojizo amarillento. El viento remueve las partículas de relave.
0176-155-013	8312155	320463	4418	14.5	8.25	115.8	58.58	15	7.84	131.5	Qh-al. Tobas blanquecinas fracturadas	A 800 m de este punto se ubica el centro poblado de Subatia. En los alrededores se aprecia actividad de pastoreo de alpacas, bofedales y charcos.
0176-155-016	8313536	334185	4009	11.2	8	145.4	71.51	50	7.42	108.3	Qh-al. Flal. Deposito aluvial.	Punto de confluencia de quebrada Yanasora que baja por el cerro Chullunquiani.



0176-155-019	8273485	349085	4103	6.1	8.121	55.61	27.77	10	8.61	112.6	Qh-al. Deposito fluvioglaciario (gravas matriz)	
0176-155-020	8275004	351621	3984	9.7	8.8	61.63	30.7	10	7.49	105.5	Dc-m2. Grupo Cabanillas.	El rio ha sido captado en el canal que abastece a viviendas de este sector. La muestra se tomó 1 Km aguas abajo del área de influencia de la mina.
0176-155-021	8314676	317498	4604	5.9	7.36	942.1	463	15	7.58	106.2	Qpl-mo. Depósitos morrenicos.	El rio ha sido captado en el canal que abastece a viviendas de este sector. La muestra se tomó 1 Km aguas abajo del área de influencia de la mina.
0176-155-024	8265828	331210	4026	15.7	8.95	606	306	5	15.7	147.1	Pn-ta. Grupo tacaza. Lavas volcánicas, fracturada	Presencia de óxidos de hierro en lecho. Muestra duplicada tomada el 05/09/13 código 0176-155-037. Son aguas arriba del puente. Ce=647,9 us/cm; TDS=318,1 mg/L; RDO=9,01 mg/L y % sat=125,5; T=9.1°C. H= 10:23, PH
0176-155-037	8265828	331210	4026	9.1	8.93	647.9	318.1	15	9.01	125.5	Pn-ta. Grupo tacaza. Lavas volcánicas, fracturada	Presencia de óxidos de hierro en lecho.
0176-155-025	8267750	322098	4086	8.8	8.14	4196000	2051	300	8.68	122.5	Qh-al. Depósitos aluviales. Tobas blanquecinas	La unidad minera de Santa Bárbara de Ruriwasi se encuentra en cierre, paralizada sin embargo el margen izquierdo de rio verde está iniciando exploración.
0176-155-026	8265688	330327	4023	11.9	8.84	2975000	1459	50	8.19	123.4	Qh-al. Depósitos fluvioglaciares	Presencia de algas en lecho de rio.
0176-155-038	8265688	330327	4023	11.9	8.84	2975000	734.7	1000	7.95	113.6	Qh-al. Depósitos fluvioglaciares	Duplicado 0176-155-026.
0176-155-027	8310000	314655	4727	14.2	7.4	955.8	468.8	10	5.62	97.5	PN-ta. Grupo tacaza. Tobas fracturadas	Muestra tomada para ser el aporte de la quebrada afluente por margen derecha a donde se ubica el relave de palca.
0176-155-028	8264852	324716	4056	10.4	8.69	3472	1700	1000	7.71	112.5	Qh-al. Depósitos aluviales.	Muestra tomada para ser el aporte de la quebrada afluente por margen derecha a donde se ubica el relave de palca.
0176-155-030	8266778	323133	4080	9.6	9.38	4001	1963	500	8.15	117.6	Qh-al. Depósitos aluviales.	
0176-155-031	8266893	330314	4019	18.2	9.13	522	256.5	30	9.13	157.3	Qh-al. Calizas/ depósitos fluvioglaciares	Las aguas se presentan lenticas, con alto contenido de algas.
0176-155-039	8266893	330314	4019	10.2	8.81	543.3	266.7	5	7.1	101.8	Qh-al. Calizas /depósitos fluvioglaciares	Las aguas se presentan lenticas, con alto contenido de algas.
0176-155-032	8265330	328447	4034	11.2	8.73	3019000	1513	300	8.32	123.6	Kis-ay. Formación Ayabacas.	En la margen izquierda del rio Cabanillas se han dispuesto desmontes-relaves de fundición Limón verde que están siendo semi-estabilizadas con gaviones para minimizar la erosión fluvial.
0176-155-033	8265599	331213	4019	12	8.85	2777000	1355	1000	8.38	126.3	Qh-al. Deposito fluvio- aluvial, conglomerados redondeados.	Se presenta algas en rocas. Bajo el punto de residuos inorgánicos a 30 m aguas arriba.
0176-155-029	8265599	331213	4019	9	9.01	1436000	704.9	1500	8.3	115.5	Qh-al. Deposito fluvio- aluvial, conglomerados redondeados.	Se presenta algas en rocas. Bajo el punto de residuos inorgánicos a 30 m aguas arriba. Duplicado 0176-155-033.

0176-155-034	8259040	326708	4116	15.8	8.81	1360000	667.1	15	6.21	103.5	Nm-sl/sed. Deposito proluvio-aluviales.	El cauce del rio Saracanch por la margen derecha e izquierda es alimentada por torrenteras proluvio aluviales. Se presentan precipitados carbonatos en cauce y terraza.
0176-155-035	8254803	339977	4096	16.6	8.95	1057	520	50	7.77	130.5	Qh-al. Deposito proluvio-aluviales.	En las calderas se aprecian operaciones de extracción artesanal del mineral.
0176-155-036	8257589	326191	4145	15.2	8.65	1352000	668.6	15	7.02	115.7	Peo-sa	Ademas aguas abajo en la ladera se ha apertura do pequeñas bocaminas.
0176-155-040	8254725	338461	4216	11.5	5.9	1485000	137	10	2.26	34.9	Qh-al. Depósitos aluviales.	La muestra se extrajo del contacto del manantial con el relave y se canalizo en la quebrada que confluye con angostura a la quebrada lorepata.
0176-155-041	8257259	338650	4056	16	8.73	816.1	400.4	1000	7.2	118.2	Qh-al. Depósitos aluviales.	Las quebradas afluentes del rio Cotaña aguas arriba son del tipo intermitentes, se infiltran y forman bofedales no siguiendo cauces fijos. En la parte alta se presenta actividad minera abandonada y artesanal con depósitos altamente meteorizados, oxidados (goetita).
0176-155-042	8254326	338547	4169	9.7	8.5	935	458.9	10	7.38	106	Qh-al. Depósitos aluviales.	El punto ha sido tomado en línea paralela al depósito de relave y desmontes. Al margen derecho se aprecian bofedales.
0176-155-043	8258953	336736	4036	14.3	8.51	1782000	874.6	15	6.28	99.4	Qh-al. Depósitos aluviales.	Aguas arriba de este punto existen operaciones mineras artesanales por donde pasa el cauce de una quebrada que puede ser contaminado por los residuos mineros.
0176-155-044	8258413	337638	4044	18.6	8.66	1748	854.9	5	5.98	104.2	Lavas	Al margen derecho de la quebrada que se encuentra depósitos de relaves de coloraciones rojizas. En el lecho se presentan depósitos proluviales.
0176-155-045	8255183	339472	4112	15.6	8.4	980.4	482.9	15	6.34	104.2	Qh-al. Depósitos aluviales.	Ambas márgenes de la quebrada Angostura se localizan unidades mineras artesanales (Muqui) y abandonadas (Jornune) que presentan desmontes y relaves.
0176-155-046	8259472	336478	4027	16.8	8.69	945.9	463.9	500	7.32	122.4	Qh-al. Depósitos aluviales.	La muestra representa el efluente por la margen izquierda de la quebrada Lorepata que van a dar a San Antonio. El lecho esta relleno de material fluvial de gravas finas. Además se presenta una canalización que va abastecer a San Antonio. Se evidencia actividad ganadera. Aguas arriba se encuentra la Mina Ccello Ccello-Lorepata.
0176-155-048	8313814	327610	4088	7.5	8.88	184.9	91.1	5	8.05	108.6	Qh-al. Depósitos aluviales.	A 15m del cauce principal se evidencia un canal que capta el agua para abastecimiento. Presencia de nevada.
0176-155-049	8315929	327397	0	6.9	8.91	161.2	79.5	30	8.25	109.7	Qh-al1.FI (Bloques, bolones, gravas, arena) Depósitos aluviales.	
0176-155-050	8269830	303269	4400	11.1	8.06	85.95	0	5	6.77	103.8	Qh-bo. Bofedales.	Zona presenta bofedales-humedales.
0176-155-051	8268894	300681	4300	13.3	9.25	62.42	31.15	10	8.68	140.5	Dep. Fluvioglaciares y bofedales.	Referencia aguas debajo de Ichoccollo. Aguas arriba se encuentra la mina Ichoccollo.
0176-155-052	8269998	302381	4421	10.5	7.66	72.27	35.98	8	6.91	104.8	Qpl-mo. Depósitos morrenicos. Tobas	Las operaciones abandonadas, están volviendo hacer explotadas artesanalmente, los depósitos de desmontes en la margen derecha de la quebrada Ichoccollo, el color es plomizo con presencia de lodos negruzcos.
0176-155-056	8268421	331353	4160	10.7	8.45	2136000	1031	2	7.67	115	Kis-ay. Formación Ayavaca, grupo Moho.	Aguas abajo del drenaje van a dar a la Qda. Paucarilla.
0176-155-047	8268421	331353	4160	11.2	9.05	2143000	1051	2	7.97	119.5	Kis-ay. Formación Ayavaca, grupo Moho.	Aguas abajo del drenaje van a dar a la Qda. Paucarilla.
0176-155-057	8268563	303151	4300	4.7	8.26	119.3	58.91	10	8.04	104.8	Qh-co. Tobas conglomerados	Riachuelo carretera. Ds Pinaya-Ichoccollo.

0176-155-058	8267830	300920	4293	11.06	9.05	2114000	1033	1000	9.64	146.6	Conglomerado volcánico. Grupo Puno.	En el punto se presenta aguas termales, gran cantidad de precipitados, sulfatados, carbonatados blanquecinos, algas y lodos.
0176-155-059	8267383	300489	4301	10.1	8.95	2108000	1034	0	9.23	136.7	P-pu. Grupo Puno.	En el punto se presenta aguas termales, gran cantidad de precipitados, sulfatados, carbonatados blanquecinos, algas y lodos.
0176-155-061	8270067	318842	4130	18	9.4	310.1	152.5	0	0	122.6	Qh-al. Depósitos aluviales.	En la parte alta, cabeceras de este punto se localiza la unidad minera Tacaza que se encuentra en operación. Compañía CIEMSA, además existe pastoreo de ganado.
0174-154-003	8253739	358487	0	13.8	8.78	1150000	564	0	7.5	115.6	Qh-bo. Bofedales.	
0174-154-004	8248305	357914	4067	15.8	8.29	885.6	434.8	2	6.38	104.9	Qh-al. Depósitos aluvial	
0174-154-005	8253137	359773	3971	15	4.5	418.4	2056	2	6.36	101.6	N-di. Diorita neogena	En la margen derecha del rio en la parte alta del cerro de la comunidad Viscochane se aprecia operaciones de bocamina. En el lecho de la quebrada se aprecia restos de arena-gravilla de lavado de oro.
0174-154-007	8251267	362742	3952	11	8.45	740.8	360.6	2	7.67	106.5	Grupo Puno.	Aguas abajo van a confluir al rio vilque.
0174-154-008	8247906	357996	4097	10.4	8.42	410.2	201.4	1	6.29	91.2	Dep. Proluvio-aluviales	1Km aguas arriba de mina Toltollani abandonada hace 8 años.
0174-154-009	8248985	357860	4026	16.5	8.62	668.6	328.1	5	6.81	112.7	Formación Muñani. Areniscas, limolitas, rojizas	
0174-154-010	8246939	359200	4324	14.2	8.61	363.8	178.8	2	6.31	103.2	Kiss-ay. Formación Ayabaca. Grupo Moho.	
0174-154-012	8250407	360378	3962	17.5	8.63	426.4	209.2	3	6.86	115.4	Qh-al. Deposito aluvial.	Punto tomado en la quebrada que baja de la Mina Paltapata que confluye con la quebrada que baja por la margen derecha del sector santiaguito donde se aprecian desmontes y relaves en cabecera.
0174-154-013	8247032	356280	4330	9.4	8.56	359.7	175.8	1	7.96	115.6	N-po. Pórfidos de plagioclasas y cuarzo.	Aguas arriba potencial deposito mineral. En este sector se presentan algas en lecho y el depósito fluvial compuesto por bloques, bolones de calizas, gravas y arenas que obstaculizan el drenaje superficial.
0174-154-014	8251148	362841	3932	13.8	8.94	472.9	327.5	2	6.99	107.6	P-pu. Grupo puno.	En este punto confluyen los riachuelos y/o drenajes que bajan del cerro donde se localiza la mina Rosales.
0174-154-015	8256275	364196	3871	13.7	0	455.1	323.5	1000	8.32	127.1	Qh-al. Deposito aluvial.	Muestra tomada en el rio vilque aguas abajo del sector rosales. En el lecho se aprecian residuos de plásticos. A lo largo del valle fluvio-aluvial se aprecian pozos de captación de aguas subterráneas.
0174-154-016	8252212	363771	3897	9.1	8.54	356.9	175.6	3	11.3	154.9	Qh-al. Deposito aluvial.	El agua que baja del sector de Rosales, es un canal que es utilizado para actividad ganadera.
0174-154-018	8246636	356518	4377	16	9.02	446.1	219.2	2	5.88	100.4	N-po.Cortacho Qda. Flg roca calizas. Rellenados de Qz	Se presentan oxidaciones de forma natural, además se evidencia una pequeña minería artesanal de timbaletes artesanales.
0174-154-019	8248038	355552	4195	16.5	9.04	339.2	176.7	5	6.59	111	N-po. Pórfido de plagioclasas y cuarzo	
0174-154-020	8246514	372511	3892	16.9	9.45	262.6	129.1	0	8.19	134.7	volcánico sedimentario	
0174-154-021	8247901	373960	3877	20.8	7.5	4140	2085	0	9.67	174	Kis-ay. Fm. Ayabaca.Calizas volcánico sedimentario	El agua es de carácter lentic en sus alrededores. Se aprecia precipitados de óxidos rojizos y precipitados blanquecinos, gran cantidad de lodo y fango.

0174-154-022	8247807	372645	3884	15.9	9.01	309.1	152	0	10.27	164.7	Qh-al. Depósitos aluviales.	A 2Km aguas abajo del relave Tiquillaca. Punto ubicado en el río que baja a Challamayo.
016-152-002	8222123	376323	4120	12.2	9.26	252.5	124.2	80	7.36	112.2	Qh-al. Depósitos aluviales	
016-152-003	8220640	381031	3996	11.7	8.69	286.5	140.9	200	6.96	103.5	Qh-al. Deposito aluvial.	Tomado a 2 km de confluencia de la Qda Pichacani y el río cutimbo. Aguas arriba del punto se localiza el distrito de Pichacani.
016-152-004	8214037	380947	4144	15.3	8.52	496.5	243.7	20	6.81	111.5	Grupo tacaza. Volc. Caracycassa	La muestra se tomó en la quebrada que corta y baja por el depósito del relave en las cabeceras de la microcuenca de Huacuyo.
016-152-005	8212872	381215	4022	11.3	8.72	229.5	112.9	5	8.06	118.8	Qh-al. Depósitos aluviales	
016-152-006	8223137	375528	0	10.4	9.4	315.5	155.1	8	8.58	125.2	Grupo Maure	
016-152-007	8214025	387740	3945	15.3	8.96	546.2	267.8	30	6.94	11.4	Qh-al. Deposito aluvial.	Aguas debajo de laraqueri. La pampa Fluvio-aluvial esta relleno por depósitos de cantos rodados, gravas y arenas.
016-152-009	8220203	379467	4012	13.1	8.8	254.1	120.6	20	6.76	104.2	Qh-al. Deposito aluvial.	
016-152-010	8210642	383158	3984	16.3	9.19	467	292.2	70	8.1	132.9	Qh-al. Deposito aluvial.	En este punto se tomó un duplicado cod: 016-152-013. El río Laripongo a 1 km antes de confluir con la Qda. Antajave que baja de la mina Guadalupe.
016-152-011	8213867	385574	3966	15.6	9.56	111.9	55.29	5	10.35	166.6	Qh-al. Deposito aluvial.	Localizada en la desembocadura de la quebrada Querquere en el valle se desarrolló cultivo de pastos y pastoreo de ganado.
016-152-012	8219980	377317	4047	12.1	9.26	198.6	97.8	30	0	0	Qh-al. Deposito aluvial.	Al margen derecha del río Santa Rosa se han depositado residuos mineros que pueden afectar la calidad de agua del río.
016-152-014	8212106	382600	3990	15.3	7.94	2507000	1230	15	10.4	168	Qh-al. Deposito aluvial.	Presencia de algas en lecho de río. El punto de confluencia de la quebrada que baja de la mina Guadalupe y que va a abastecer al poblado ubicado aguas abajo.
016-152-015	8212219	384301	3967	15.7	9	5813	285.4	70	7.55	121.8	Qh-al. Deposito aluvial.	Río Laripongo que abastece a Laraqueri ubicado aguas abajo.
019-159-004	8339584	368411	3894	19.4	6.79	1241000	609.6	5	5.68	99	NQ-az. Formación azangaro.	La muestra se tomó 2 Km aguas debajo de la ladera del cerro donde se han realizado la remoción del material para la exploración de Mina Mercedes.
019-159-007	8339438	369615	3875	17.5	8.49	1394000	684.4	8	8.68	145.3	NQ-az. Formación azangaro.	Se aprecia gran cantidad de algas y residuos plásticos
018-159-002	8311283	313876	4885	11.2	11.32	145.94	72.11	1000	11.77	193.1		
018-159-004	8310334	310992	4771	14.1	8.05	291.6	143.3	3	6.28	108.4	Qh-al. Deposito aluvial.	En ambas márgenes y laderas del sector Coline se aprecian conos de distritos de lava gris-blancuecina.
018-159-005	8313673	312226	4667	4.9	8.89	102400	502.4	20	7.78	106	PN-ta. Grupo Tacaza	Muestra tomada en presencia de nevada-precipitación.
018-159-006	8312361	311634	4707	7.26	8.01	873.7	428.1	40	6.95	101.8	Qh-al. Deposito aluvial.	Muestra tomada en presencia de nevada-precipitación.
018-159-008	8332043	353158	3973	6.3	8.51	606.4	297.5	5	7.17	92.8	P-pu. Grupo Puno.	Mina Pukera presenta operaciones de bocamina, desmontes en ladera con contenidos de calcopirita y minerales ferro-magnesianos.
018-159-009	8331920	353855	3890	19.1	8.54	554.4	270.3	15	5.89	101.5	Qh-al. Deposito aluvial.	Aguas arriba se encuentra el depósito de relaves. El punto de muestreo se localiza a 1.5km del punto anterior de drenaje del socavón. Se aprecia como filtraciones que salen de los depósitos de desmontes y bocaminas de la unidad minera.

El cuadro litológico explica la conformación de la roca que se encuentra compuesto cada formación que se obtuvo del cuadro estratigráfico, agrupándolos de acuerdo al tipo de roca (sedimentaria, metamórfica, intrusiva, volcánica, volcano-sedimentarias y rocas inconsolidadas), esta síntesis sirve para la realización del mapa litológico de la región puno y de la cuenca coata que se muestra en los mapas 2 y 6.

Cuadro 9. Litología de la Región Puno

Unidad geológica		Simbología	Código litológico	Descripción litología	Unidad litológica
Depósito de sinter			I-10	Depósitos químicos	depósitos inconsolidadas
Depósitos de travertinos		Q-t	I-10	Depósitos químicos	depósitos inconsolidadas
Depósito Eólico		Q-e	I-11	Depósitos eólicos	depósitos inconsolidadas
Depósito Aluvial		Qh-al	I-2	Depósitos fluviales	depósitos inconsolidadas
Depósito Fluvial		Qh-fl	I-2	Depósitos fluviales	depósitos inconsolidadas
Depósito Aluvial		Qh-al	I-2	Depósitos fluviales	depósitos inconsolidadas
Depósito Coluvial		Qh-co	I-5	Depósitos coluviales	depósitos inconsolidadas
Depósito Bofedal		Qh-bo	I-6	Depósitos lacustrinos	depósitos inconsolidadas
Depósito Palustre		Qh-pr	i-6	Depósitos lacustrinos	depósitos inconsolidadas
Depósito Lacustrino		Qpl-la	I-6	Depósitos lacustrinos	depósitos inconsolidadas
Depósito Glaciar		Qh-gl	I-7	Depósitos glaciar	depósitos inconsolidadas
Depósito Morrénico		Qpl-mo	I-7	Depósitos glaciar	depósitos inconsolidadas
Depósito Fluvio Glaciar		Qh-fg	I-7	Depósitos glaciar	depósitos inconsolidadas
Formación Confital		Np-co/tbk	III-1	Tobas y piroclastos ácidos	rocas volcánicas
Formación Quenamari	Miembro Chacacuniza	Nm-ch	III-1	Tobas y piroclastos ácidos	rocas volcánicas
Formación Quenamari	Miembro Sapanuta	Nm-sa	III-1	Tobas y piroclastos ácidos	rocas volcánicas
Formación Quenamari	Miembro Yapamayo	Np-ya	III-1	Tobas y piroclastos ácidos	rocas volcánicas
Grupo Palca		Nm-pa	III-1	Tobas y piroclastos ácidos	rocas volcánicas

Grupo Sillapaca	Nm-si	IV-1	Tobas y lavas dacíticas y traquiandesíticas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Formación Capillune	Ts-ca	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Formación Sencca	N-se	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Grupo Barroso	Np-ba	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Grupo Maure	Formación Colquerane Nm-ma	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Grupo Tacaza	PN-ta	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Grupo Mitu	PsT-mi	IV-2	Tobas y brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	rocas volcano-sedimentarias
Formación Muni	JsKi-mu	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Formación Vilquechico	Ks-vi	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Formación Arcurquina	Kis-ar	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Grupo Yura	Js-gr	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Grupo Yura	Formación Cachios Jm-ca	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Formación Socosani	Jm-so	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Grupo Tarma, Copacabana	CP-taco	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas	rocas sedimentarias
Formación Vivían	Ks-v	V-2	Arenisca y lutita	rocas sedimentarias
Formación Murco	Ki-mu	V-2	Arenisca y lutita	rocas sedimentarias

Grupo Oriente	Ki-o	V-2	Arenisca y lutita	rocas sedimentarias
Grupo Yura	Js-la	V-2	Arenisca y lutita	rocas sedimentarias
Grupo Yura	Jm-pu	V-2	Arenisca y lutita	rocas sedimentarias
Grupo Huayabamba	PN-ch	V-3	Lodolita, limolita y limoarcillita	rocas sedimentarias
Formación Pozo	P-p	V-3	Lodolita, limolita y limoarcillita	rocas sedimentarias
Formación Tinajani	Nm-ti	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Madre de Dios	Qp-mds	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Arco Aja	Np-ar	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Azángaro	Qp-az	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Chichanaco	Np-ch	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Ipururo	N-i	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Taraco	Np-ta	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Titan	Np-t	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Yauli	Np-y	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Moho	Kis-mo	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Auzangate	KsP-au	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Muñani	P-mu	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Puno	P-pu	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Muñani	P-mu	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Huancané	Ki-hn	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Moho	Kis-mo	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Iscay	Ps-is	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Ambo	Ci-a	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Grupo Cabanillas	D-ca	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias

Formación Calapuja	O-ca	V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	rocas sedimentarias
Formación Yahuarango	P-y	V-6	Cuarcitas y areniscas	rocas sedimentarias
Grupo Yura	Ki-hu	V-6	Cuarcitas y areniscas	rocas sedimentarias
Grupo Cabanillas	D-ca	V-6	Cuarcitas y areniscas	rocas sedimentarias
Formación San Gaban	O-sg	V-6	Cuarcitas y areniscas	rocas sedimentarias
Formación Ananea	SD-a	VI-3	Filitas-pizarras	rocas metamórficas
Formación Sandia	Os-s	VI-3	Filitas-pizarras	rocas metamórficas
Formación Iparo	Oi-i	VI-3	Filitas-pizarras	rocas metamórficas
Formación Purumpata	Oi-p	VI-3	Filitas-pizarras	rocas metamórficas
Grupo San José	Oim-sj	VI-3	Filitas-pizarras	rocas metamórficas
Granito		II-1	Granito, Monzogranito, Leucogranito, Microgranito, Cuarzo Monzonita.	rocas intrusivas
Leucogranito		II-1	Granito, Monzogranito, Leucogranito, Microgranito, Cuarzo Monzonita.	rocas intrusivas
Microgranito		II-1	Granito, Monzogranito, Leucogranito, Microgranito, Cuarzo Monzonita.	rocas intrusivas
Monzogranito		II-1	Granito, Monzogranito, Leucogranito, Microgranito, Cuarzo Monzonita.	rocas intrusivas
Monzogranito y cuarzo monzonita		II-1	Granito, Monzogranito, Leucogranito, Microgranito, Cuarzo Monzonita.	rocas intrusivas
Granito - Granodiorita		II-2	Granodiorita.	rocas intrusivas
Granodiorita		II-2	Granodiorita.	rocas intrusivas
Granodiorita - Tonalita		II-2	Granodiorita.	rocas intrusivas
Cuarzo Monzodiorita		II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfirítica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas
Diorita		II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfirítica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas
Gabro		II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfirítica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas
Microdiorita		II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfirítica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas
Tonalita		II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfirítica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas



Tonalita porfírica	II-3	Diorita, Tonalita, Tonalita Porfírica, Microdiorita, Gabro, Cuarzo Monzodiorita.	rocas intrusivas
Domo Riolítico	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Lamproita	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Pórfido Andesítico	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Pórfido con hornblenda	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Pórfido de cuarzo y plagioclasa	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Pórfido latita cuarzosa	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Pórfido riolítico	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas
Sienita	II-4	Sienita, Pórfido riolítico, Pórfido latita cuarzosa, Pórfido de cuarzo y plagioclasa, Pórfido con hornblenda, Pórfido andesítico, Lamproita, Domo Riolítico.	rocas intrusivas

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del mapa hidrogeológico de la cuenca coata se realizó con el uso de la litología y geología de la cuenca hidrológica coata y se muestra en el mapa de 8 y su descripción en cuadro 10.

Cuadro 10. Descripción Hidrogeológica de la cuenca Coata.

Descripción	Hidrogeología
Formación Auzangate	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Ayavacas	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Hualhuani	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Labra	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Muñani	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Vilquechico	Acuífero Fisurado Sedimentario
Formación Murco	Acuífero Fisurado Sedimentario
Grupo Puno	Acuífero Fisurado Sedimentario
Grupo Puno	Acuífero Fisurado Sedimentario
Grupo Yura - Formación Gramadal	Acuífero Fisurado Sedimentario
Grupo Yura - Formación Labra	Acuífero Fisurado Sedimentario
Grupo Yura - Formación Puente	Acuífero Fisurado Sedimentario
Andesita	Acuífero Fisurado Volcánico
Andesitas Porfíricas	Acuífero Fisurado Volcánico
Grupo Barroso	Acuífero Fisurado Volcánico
Grupo Mitu	Acuífero Fisurado Volcánico
Grupo Sillapaca	Acuífero Fisurado Volcánico
Grupo Sillapaca	Acuífero Fisurado Volcánico
Grupo Tacaza	Acuífero Fisurado Volcánico
Deposito fluvio-aluvial	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos Aluviales	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos coluviales	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos de bofedal	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos Fluvioglaciares	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos Morrenicos	Acuífero Poroso No Consolidado
Depositos palustres	Acuífero Poroso No Consolidado
Formación Arcurquina	Acuífero Sedimentario
Grupo Ambo	Acuífero Sedimentario
Formación Taraco	Acuífero Volcánico Sedimentario

Grupo Maure	Acuífero Volcánico Sedimentario
diorita	Acuitardo Intrusivo
Diorita, Neogena	Acuitardo Intrusivo
dique	Acuitardo Intrusivo
granodiorita	Acuitardo Intrusivo
monzocuarcita	Acuitardo Intrusivo
Monzogranito y cuarzo monzonita	Acuitardo Intrusivo
Paleogeno, cuarzo-monzodiorita	Acuitardo Intrusivo
Rocas intrusivas - Granodiorita	Acuitardo Intrusivo
Rocas intrusivas: Diorita	Acuitardo Intrusivo
Conglomerados polimícticos Santa Lucia	Acuitardo Sedimentario
Cuarcitas	Acuitardo Sedimentario
Depósitos de travertinos	Acuitardo Sedimentario
Formación Azangaro	Acuitardo Sedimentario
Formación Calapuja	Acuitardo Sedimentario
Formación Muni	Acuitardo Sedimentario
Formación Saracocha	Acuitardo Sedimentario
Formacion Socosani	Acuitardo Sedimentario
Grupo Cabanillas	Acuitardo Sedimentario
Grupo Moho	Acuitardo Sedimentario
Grupo Yura - Formación Cachios	Acuitardo Sedimentario
Dacita	Acuitardo Volcánico
Formación Confital	Acuitardo Volcánico
Formación Palca	Acuitardo Volcánico
Grupo Iscay	Acuitardo Volcánico
Grupo Palca	Acuitardo Volcánico
Grupo Tacaza	Acuitardo Volcánico
Paleogeno, basalto	Acuitardo Volcánico
Porfido con hornblenda	Acuitardo Volcánico
Porfido de cuarzo y plagioclasa	Acuitardo Volcánico
Porfidos de plagioclasa y cuarzo	Acuitardo Volcánico
Subvolcanico Catchane,dacita	Acuitardo Volcánico
Subvolcanico Paconcahua,latiandesita	Acuitardo Volcánico
Formación Pichu	Acuitardo Volcánico Sedimentario

---

Fuente: Elaboración propia

Tenemos gran cantidad de Acuitardos volcánicos que representan un 1607.83 Km<sup>2</sup> ósea un 32.68% de toda el área de estudio y se encuentran al nor-este

de la cuenca hidrográfica; además tenemos a los acuíferos porosos no consolidados que representan 1505.23 Km<sup>2</sup> ósea un 30.59% del área de estudio y se encuentra más al sur-este de la cuenca hidrográfica.

Cuadro 11. Dimensiones de unidades hidrogeológicas de la cuenca hidrográfica coata.

<b>Unidad hidrogeológica</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Acuitardo Intrusivo	139.993897	0.0285
Acuitardo Sedimentario	563.655421	0.1146
Acuitardo Volcánico	1607.83225	0.3268
Acuitardo Volcánico Sedimentario	9.20383025	0.0019
Acuífero Fisurado Sedimentario	316.499772	0.0643
Acuífero Fisurado Volcánico	536.909762	0.1091
Acuífero Poroso No Consolidado	1505.23204	0.3059
Acuífero Sedimentario	22.5519153	0.0046
Acuífero Volcánico	0.18077841	0
Acuífero Volcánico Sedimentario	78.9428156	0.016
Laguna	139.548428	0.0284
<b>Total</b>	<b>4920.55091</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## **VII. DISCUSIÓN**

### **7.1. De la Actualización de la base cartográfica**

Como se puede observar en el Cuadro 5, se han actualizado la ubicación en coordenadas UTM de las comunidades existentes dentro de la cuenca de Coata. Asimismo, la cuenca hidrográfica es considerada grande debido que abarca una área de 4882.42 km<sup>2</sup> y supera los 250 km<sup>2</sup> (LONDOÑO, 2001). Por otro lado, la cuenca hidrográfica presenta una forma alargada debido que presenta un factor de forma  $F = 0.58$ . Con respecto al índice de compacidad  $K_c = 1.87$ , el cual nos dice que es alargada (VILLÓN, 2002).

La densidad de drenaje de la cuenca es de 0.69 km/km<sup>2</sup> lo que nos indica que es de categoría baja que nos refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta; igualmente sugiere materiales duros y resistentes desde el punto de vista litológico, lo que concuerda con la litología de la cuenca Coata que presenta gran cantidad tobas, brechas basálticas así como rocas piroclásticas (LINSLEY, 1977).

## **7.2. De la columna crono-estratigráfica**

Se puede observar que anteriormente se tenían 75 unidades geológicas dentro de esas unidades se tienen 12 depósitos, 16 grupos y 47 formaciones con lo que no se podía diferenciar si pertenecían al mismo grupo geológico, con la actualización se pueden observar 10 depósitos, 17 grupos, 48 formaciones y 23 miembros; cada unidad geológica está relacionada, esto se debe que anteriormente no se tenían relacionadas y se determinaron 23 nuevas formaciones que antes no se habían considerado en los mapas.

En el Cuadro estratigráfico que se encuentra en la sección de anexo, se observan los valores encontrados en cada punto de muestreo, teniendo en cuenta que muchas de sus características han cambiado debido que son zonas que pertenecen a minas abandonas. El área comprendida por acuíferos porosos no consolidados está conformada por materiales recientes no litificados productos de la erosión, transporte y deposición de sedimentos, actividad volcánica y humana, con alta capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea principalmente por sus poros. Generalmente en este tipo de acuífero se registra la mayor cantidad de pozos y sondeos verticales, donde se extraen agua subterránea, para ser utilizada en labores agrícolas, consumo humano e industrial. Se conoce que estas áreas son en su mayoría de uso agropecuario en especial para la crianza de camélidos además de

presentar mayor cantidad de drenaje siendo zona de convergencia o de formación del río Coata (GIL MONTES, 2005).

### **7.3. De los mapas**

Del mapa Geológico de la región Puno se pueden diferenciar 75 unidades geológicas (depósitos, grupos y formaciones) que se pueden observar en el mapa geológico pero no se tomaron en cuenta los miembros debido que pertenecen a la misma formación; anteriormente no se tomaban en cuenta la relación que tienen los miembros con sus formaciones y las formaciones con sus grupos.

Del mapa Litológico de la región Puno se pueden observar 23 unidades Litológicas que anteriormente no tenían una base digital Litológica debido que solo lo tenían como descripción dentro de cada unidad Geológica.

Se han elaborado los tres principales mapas, que representan la estructura hidrogeológica de la cuenca hidrográfica Coata. Estos mapas nos permiten ver en una vista sinóptica la composición del material parental y determinar la existencia de aguas subterráneas. Todos los mapas han sido proyectados en la zona 18, utilizando el Datum WGS 1984 a escala 1:300,000 para una mejor visualización de la cuenca hidrográfica.

Del mapa Hidrogeológico de la cuenca Coata se pueden observar 11 unidades Hidrogeológicas y es el primero elaborado para la cuenca Coata de lo cual servirá como base para la elaboración de mapas posteriores.

## **VIII. CONCLUSIONES**

1. Al realizar la actualización de la base geológica de la región Puno se determinaron 23 nuevos miembros que van a ser parte de las nuevas formaciones geológicas y litológicas que afloran en la región Puno como resultado de los análisis realizados.
2. Se determinaron dos (02) tipos de formaciones hidrogeológicas predominantes en la cuenca hidrográfica Coata, los cuales son los acuitardos volcánicos (al nor-oeste de la cuenca) y acuíferos porosos no consolidados (al sur-este de la cuenca) como resultado de los mapa base que se tenía de la zona.
3. Según la actualización de la base cartográfica, la cuenca hidrográfica Coata cuenta con 3352.35 km de longitud total de todas las aguas loticas (ríos, quebradas, arroyos, etc.) así como también el total de aguas lenticas (lagunas) que es de 139.54 Km<sup>2</sup>.
4. De la estructuración de la columna estratigráfica de la región Puno de acuerdo a las formaciones que afloran en cada área se ubica de acuerdo a cada edad geológica y determinando 23 nuevas unidades geológicas (miembros).



## **IX. RECOMENDACIONES**

1. Realizar evaluaciones de parámetros hidrológicos como los de precipitación (polígono de Thiessen, isoyetas) debido que son importantes para el cálculo del balance hidrológico, con eso se determinaría la alimentación o recarga del acuífero.
2. Realizar estudios de evaluación de escurrimiento subterráneo e infiltración para explicar las oscilaciones del nivel del agua con respecto al tiempo y obtener datos más actualizados con respecto del tamaño de los acuíferos.
3. Realizar evaluaciones en lo que se refiere a constantes hidrogeológicas como conductividad hidráulica, transmisividad, retención específica; con lo cual se podrá determinar la influencia de estos parámetros en el tiempo de residencia y la calidad del agua, así como para determinar el tipo de comportamiento del acuífero (impermeable, acuíferos pobres o buenos acuíferos) y realizar exploraciones para posibles aprovechamientos.
4. Realizar constantes estudios de las áreas estudiadas ya que el intervalo de actualización es muy amplia lo cual se puede apreciar varios cambios en su estructura geológica e hidrogeológica y tener conocimientos de las causas del cambio.

## **X. BIBLIOGRAFIA**

- ALONSO, 2001. GEOLOGÍA EN ACCIÓN. España. 22 pág.
- FAO, 1997. LA NUEVA GENERACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Roma - Italia. 154 pág.
- GIL MONTES, 2005. RECURSOS HIDROGEOOLÓGICOS. 29 pág.
- GRAVUSOB B., 2002. Lithology. Genetic types and lithological species of parent and underlying rocks. In: Stolbovoi V Savin I Sheremet B & Kolesnikova L 2002. Land Resources of Russia. International Institute for Applied Systems Analysis A-2361, Laxenburg, Austria.
- INGEMMET, 2005. GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL Y ALTIPLANO AL OESTE DEL LAGO TITICACA AL SUR DE PERÚ. Lima-Perú. 94 pág.
- INGEMMET, 2014. GUÍA DE MAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS PRODUCIDOS POR LA DGAR. Lima – Perú. 22 pág.
- INRENA, 2007. Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos CABANILLAS Y LAMPA. Juliaca – Perú. 240 pág.

- LINSLEY, 1977. HIDROLOGIA PARA INGENIEROS. Editorial Mc GRAW-HILL. Segunda edición. Cali – Colombia. 398 pág.
- LONDOÑO A., 2001. CUENCAS HIDROGRAFICAS: BASES CONCEPTUALES – CARACTERIZACIÓN – PLANIFICACIÓN – ADMINISTRACIÓN. Ibagué 2001. 359 pág.
- NAVARRO A. 2002. CONCEPTOS BASICOS DE HIDROGEOLOGIA, 9 pág.
- ONERN, 1965. PROGRAMA DE INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES DEL DEPARTAMENTO DE PUNO. Lima – Perú. 225 pág.
- Pantoja Zaldívar, Y., Marzo Manuel, Y. y Diéguez Pavón, M. 2010. Sistemas de Información Geográfica para procesos de modelización hidrológica de precipitaciones. Revista Vinculando.
- ROJAS C., 2008. COMPENDIO DE GEOLOGÍA GENERAL, Primera edición. Noviembre de 2008. Av. Túpac Amaru 210, Rimac-Lima. 48 pág.
- VILLÓN, 2002. HIDROLOGÍA. Editorial Villón. Segunda edición. Lima - Perú. 436 pág.

## **XI. ANEXOS**

Cuadro 11. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Generación de red hidrográfica	X	X	X	X									
generación de mapas de diseño	X	X											
Identificación de fuentes de aguas superficiales			X	X									
Estructura de la columna crono-estratigráfica					X	X	X	X					
Actualización de información geológica							X	X	X	X	X	X	
Generación de mapas temáticos												X	X

Cuadro 12. Presupuesto

Ordenador (Laptop)	Unidad	1	4000.00	4000.00
Impresora	Unidad	1	600.00	600.00
Escáner	Unidad	1	400.00	400.00
<b>MATERIALES DE ESCRITORIO</b>				
Papel bond	Millar	1	18.00	18.00
Lapicero	caja	1	20.00	20.00
Plumones	caja	1	30.00	30.00
Carta nacional (digital)		1	35.00	35.00
Transporte / Pasaje urbano	mes	3	156.00	468.00
curso de capacitación		1	200.00	200.00
Sub Total				5771.00
Imprevistos (15%)				865.65
TOTAL (S/.)				6636.65

## **XII. PLANOS**